بهینه‌سازی قاب‌های بادبند دار تحت بار دینامیکی طیفی به روش الگوریتم ژنتیک مهاجرتی*

محمدجواد کتابداری[۱] سهراب محترم[۲]

چکیده *هدف از بهینه‌سازی سازه‌ها در مهندسی عمران به طراحی سازه برای رسیدن به کم‌ترین وزن و هزینه‌ی اجرایی است، به طوری که مسائل فنی مسئله نیز رعایت گردد. قاب‌های بادبندی شده یکی از انواع سازه‌هایی است که کاربرد روز افزونی در مهندسی عمران دارد. محل قرارگیری بادبند در دهانه‌های مختلف، همراه با طول تیر پیوند نقش مؤثری در عملکرد قاب دارد؛ به همین دلیل در این پژوهش این نوع قاب‌ها تحت اثر بار مرده و زنده و طیف زلزله به روش تحلیل دینامیکی، بهینه‌سازی گردیده‌اند. روش به‌کار رفته برای بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک مهاجرتی است. اساس این نوع الگوریتم این است که با الهام از طبیعت موجودات زنده و نحوه‌ی انتقال وراثت میان نسل‌های مختلف آن‌ها بهینه‌ی توابع ریاضی را محاسبه می‌نماید. مدل بر روی قاب‌های دو بعدی و سه بعدی بادبند دار اجرا گردید. نتایج نشان داد که با تعریف تابع هدف و قیود و ضوابط مناسب این قاب‌ها به عنوان ورودی مدل، می‌توان طرح بهینه‌ی دقیقی را به‌عنوان خروجی از آن دریافت نمود.*

واژه‌های کلیدی بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک مهاجرتی، قاب‌های بادبنددار، تحلیل طیفی

Optimization of Braced Frames Against Dynamic Spectral Loadings Using Migration Genetic Algorithm

M. J. Ketabdari S. Mohtaram

Abstract *The purpose of optimization in civil engineering is design of a structure to achieve the minimum weight and construction cost of the structure in addition to satisfaction of the technical aspects of the problem. Braced frame is a type of structure with large application in civil engineering. The arrangement of bracings in different panels and length of joint beam play an important role in performance of these structures. Therefore in this study a spectral dynamic analysis performed on such frames in order to optimize them against dead, live and earthquake loadings. In this procedure Migration Genetic Algorithm is used. The basis of this algorithm is inspiriting the nature of live creatures and the way inheritance transfers among different generations to calculate the optimum of mathematical functions. The model is applied on two and three dimensional braced frames. The results showed that defining the proper input data such as target function and restrictions leads to accurate optimum design as output.*

Key Words Optimization, Migration Genetic Algorithm, Braced Frames, Spectral Analysis

---

* نسخه‌ی اول مقاله در تاریخ ۸٦/۷/۱٤ و نسخه‌ی نهایی آن در تاریخ ۸۹/٦/۳۰ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) نویسنده‌ی مسئول، دانشیار، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(۲) کارشناس ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بندرعباس

مقدمه

هدف از بهینه‌سازی سیستم‌های کاربردی، صرفه‌جویی در هزینه‌ی ساخت آن‌ها از طریق کاهش حجم مصالح مصرفی می‌باشد[1]. برای دستیابی به طرحی که از نظر اقتصادی کمترین هزینه‌ی ممکن را داشته باشد، چندین الگوریتم ریاضی ابداع شده است. در الگوریتم‌های مذکور، تابعی از پارامترهای طراحی سیستم به عنوان تابع هدف انتخاب و با محاسبه‌ی حداقل یا حداکثر آن، هم‌زمان با اقناع ضوابط طراحی، طرح مناسب به دست می‌آید. طرحی که دارای کم‌ترین هزینه‌ی اجرایی بوده و استانداردهای طراحی را نیز داشته باشد، با عنوان طرح بهینه شناخته می‌شود. الگوریتم محاسبه‌ی طرح بهینه، بهینه‌سازی نامیده می‌شود. قاب‌های بادبندی شده، یکی از معمول‌ترین سازه‌های مهندسی عمران هستند که قسمت اصلی مقاومت قاب در برابر بار جانبی توسط بادبندها تأمین می‌گردد و بادبندها نقش اصلی در سختی سازه دارند؛ به‌همین دلیل، محل قرارگیری آن‌ها که باعث تغییر سختی می‌شود، نقش مهمی در عملکرد این قاب‌ها و طراحی آن‌ها دارد. در قاب‌های بادبندی شده واگرا، علاوه بر دهانه‌ای که بادبند در آن قرار می‌گیرد، محل اتصال بادبند به تیر نیز اهمیت خاصی در عملکرد آن دارد؛ به همین دلیل در این تحقیق با در نظر گرفتن این پارامترها به‌صورت متغیر بهینه‌ترین تعداد و محل نصب بادبند در قاب به دست آمده است، در قاب‌های بادبندی واگرا علاوه بر این‌ها، بهترین طول برای تیر پیوند نیز تعیین شده است.

تحلیل دینامیکی طیفی، متداول‌ترین روش تحلیل دینامیکی بار زلزله است [2]. در این تحلیل با استفاده از مجموعه‌ای از طیف‌های بازتاب زلزله‌های مختلف ولی همگن و انجام عملیات آماری، طیف طرح تهیه و برای طراحی استفاده می‌گردد. در این تحقیق از روش الگوریتم ژنتیک که یکی از قوی‌ترین روش‌های بهینه‌سازی تکاملی می‌باشد، استفاده شده است. در زمینه‌ی مهندسی عمران، محققینی با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک به حل مسائل مختلف پرداخته‌اند. تحقیقات این افراد نشان داد که الگوریتم ژنتیک، مناسب‌ترین روش برای بهینه‌سازی توپولوژی سازه‌ها با متغیرهای گسسته می‌باشد.

ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی

الگوریتم ژنتیک، تفاوت‌های زیادی با روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی دارد. این الگوریتم بر خلاف سایر روش‌ها که عملیات جستجو را از یک نقطه آغاز می‌کنند، از چندین نقطه در فضای پاسخ به جستجوی طرح بهینه می‌پردازد؛ بنابراین مشکل روش‌های بهینه‌سازی عددی معمول مبنی بر احتمال زیاد درگیرشدن الگوریتم به بهینه محلی، در روش الگوریتم ژنتیک به شدت کاسته می‌شود. این بدان معناست که جواب حاصل از روش الگوریتم ژنتیک به احتمال بیشتری نزدیک به بهینه‌ی کلی می‌باشد. روش‌های بهینه‌سازی معمول، اکثراً با متغیرهای پیوسته کار می‌کنند؛ اما الگوریتم ژنتیک بر خلاف این روش‌ها، هم با مقادیر گسسته و هم پیوسته کار می‌کند. این خصوصیت الگوریتم برای حل مسائل مهندسی بسیار مفید است. مسائل با متغیرهای پیوسته و حتی تلفیقی از متغیرهای پیوسته و گسسته را نیز می‌توان به راحتی با روش الگوریتم ژنتیک حل نمود.

روش الگوریتم ژنتیک بر خلاف سایر روش‌های بهینه‌سازی عددی به جای استفاده از مقادیر واقعی متغیرها از مقادیر کدگذاری شده استفاده می‌کند. این خصوصیت الگوریتم ژنتیک است که به آن توانایی کار بر روی متغیرهای گسسته را داده است. شیوه‌های مختلفی در کد گذاری رشته‌ها وجود دارد که معمول‌ترین آن به صورت دودویی (Binary) می‌باشد. در بعضی مسائل خاص می‌توان از مقادیر واقعی متغیرها به جای مقادیر کدگذاری شده استفاده کرد که در این صورت، نحوه‌ی عمل عملگرهای الگوریتم متفاوت خواهد بود. بر خلاف روش‌های بهینه‌سازی معمول که در آن‌ها نیاز به پیوسته بودن تابع هدف و هم‌چنین مشتق تابع هدف در بازه‌ی

تعریف شده جهت متغیرها می‌باشد، الگوریتم ژنتیک، تنها نیاز به مقدار تـابع هـدف دارد. ایـن خـصوصیت، باعـث می‌شود که الگوریتم ژنتیک بر روی توابع ناپیوسته نیز بـه راحتی کار کند. الگوریتم ژنتیـک بـر خـلاف روش‌هـای معمول بهینه‌سازی عددی که از قوانین قطعـی در جهـت هدایت عملیـات جـستجو اسـتفاده مـی‌کننـد، از قـوانین تصادفی استفاده می‌نماید. البته این به معنای سعی و خطـا بودن عملیات جـستجو در الگـوریتم ژنتیـک نمـی‌باشـد. الگـوریتم ژنتیـک توانـایی تلفیـق بـا سـایر روش‌هـای بهینه‌سازی را نیز دارد. هم‌چنین این الگوریتم جهت حـل مسائل نامقید ابداع گردیده است. بنابراین، در مورد مسائل مقید باید ابتدا آن‌ها را به مسائل نامقید تبدیل کرد[3].

روش کار در الگوریتم ژنتیک اصلاح شده

مراحل انجام الگوریتم به‌صورت زیر می‌باشـد. مهـم‌تـرین عیب روش ژنتیک محاسـبات طـولانی و پـر زحمـت آن است.

مراحل انجام کار [4]. در الگوریتم ژنتیک، متغیرها اکثـراً به صورت دودویی کدگذاری می‌شوند. ایـن کـد، معـادل الل (Allel) در وراثت طبیعی می‌باشد. با کنار هم قرارگرفتن این ژن‌ها رشته‌های (Strings) دودویی بـه‌نـام کرومـوزوم (Chromosome) ایجاد می‌گردد. در این الگوریتم، اکثـراً افراد را با یک رشته یا کروموزوم در نظر می‌گیریم که هر کروموزوم، معادل یک سری از مقادیر مشخص متغیرهای مسأله یا بـه بیـان دیگـر، یـک بـردار جـواب در فـضای جستجو می‌باشد. بنابراین، اولین گام برای حل مسأله بـا روش الگوریتم ژنتیک، به‌دست آوردن طول هر ژن است. این طول بستگی به تعداد مقـادیر گـسسته‌ی آن متغیـر و سیستم کدگذاری داشته و از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$k^{L_i}\ {}^{3}Nd \qquad (۱)$$

در این رابطه، Nd ؛ تعداد مقادیر گسسته، L_i ؛ طـول ژن، iام و k، تعداد حرف موجـود در سیـستم کدگـذاری می‌باشد. با توجه به این‌که در سیـستم دودویـی دارای دو عدد (۱و۰) می‌باشیم، بنابراین k=2 و داریـم: $2^{L_i} \geq Nd$. پس از محاسبه‌ی طول هر زیررشته (ژن)، طول کروموزوم که با کنار هم قرارگرفتن ژن‌ها حاصل می‌شود، از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$L_{Chrom} = \sum_{i=1}^{nvar} L_i \qquad (۲)$$

در ایـن رابطـه، L_{Chrom} ؛ طـول کرومـوزوم، nvar ؛ تعداد متغیرها و L_i، طول ژن متغیر iام مـی‌باشـد. پـس از به‌دست آمدن طول ژن‌ها و کروموزوم‌ها، مرحله‌ی ایجـاد جمعیت اولیه است. این جمعیـت مـی‌توانـد بـه صـورت کاملاً تـصادفی و یـا بـا اعمـال نظـر کـاربر تولیـد شـود. جمعیت، دارای خصوصیتی است که از آن به عنوان اندازه و یا سایز جمعیت نام می‌بـریم. انـدازه‌ی جمعیـت، برابـر تعداد کروموزوم موجود در جامعه مـی‌باشـد. ایـن تعـداد باید مقداری زوج در نظر گرفته شود. تعداد جمعیت اولیه نیز پارامتر مهمی اسـت کـه مقـدار مناسـب آن بـه طـور معمول به صورت تجربـی انتخـاب مـی‌شـود و در طـول فرایند بهینه‌سازی ثابت است. با افـزایش تعـداد جمعیـت اولیه، نقاط بیشتری از فضای پاسخ در هر نـسل جـستجو می‌شود و احتمال رسیدن به جواب بهینه‌ی محلی کـاهش می‌یابد. در حالت ایجاد تصادفی، جمعیتی از کروموزوم‌ها به طول L_{Chrom} تولید می‌شوند؛ به این ترتیب کـه عـددی تصادفی بین صفر و یک تعیین می‌گـردد. حـال اگـر ایـن عدد کوچک‌تر از مقدار ثابت t که مقدار آن بـا توجـه بـه شرایط مسأله و نظر کاربر تعیین می‌شود بود، عدد صـفر، و اگر بـزرگ‌تـر یـا مـساوی t بـود، عـدد یـک انتخـاب می‌گردد. در حالتی که بخواهیم جمعیت اولیـه بـا اعمـال نظر کاربر ایجاد شود، باید مقادیر مورد نظر را بـرای هـر ژن به طور جداگانه تبدیل به کد کرده و سپس زیررشته‌ها را کنار یکدیگر قرار داده و کروموزوم‌ها را تشکیل دهـیم. پس از ایجاد جمعیت اولیه، باید هر یک از کرومـوزوم‌هـا که نماینده‌ی یک طـرح مـی‌باشـند، رمزگـشایی شـده تـا مقادیر واقعـی متغیرهـای مربـوط بـه هـر بـردار جـواب به‌دست آید. برای‌این‌کارابتدا باید مقادیر کدگذاری شده‌ی ژن‌ها به اعداد صحیح تبـدیل شـود. سـپس بـا توجـه بـه

مقادیر صحیح به‌دست آمده برای ژن‌ها، مقادیر واقعی هر متغیر به‌دست می‌آید. برای به‌دست آوردن مقادیر صحیح هر ژن از رابطه‌ی زیر استفاده می‌گردد:

$$Rgen_k = \sum_{i=1}^{L_k} C(i) 2^{L_k - 1} + 1 \qquad (٣)$$

به‌طوری‌که، $Rgen_k$؛ مقدار رمزگشایی متغیر kام، و $C(i)$؛ مقدار iامین بیت متغیر kام می‌باشد. حال، برای به‌دست آوردن بردار جواب مربوط به این کروموزوم، باید مقادیر واقعی هر متغیر که می‌تواند گسسته یا پیوسته باشد به‌دست آید. در متغیرهای گسسته، مقدار صحیح مربوط به متغیر در حقیقت اشاره به شماره‌ی مقدار گسسته‌ی آن متغیر دارد. در این حالت که $Rgen_i > Nd_i$ مقدار $Rgen_i$ با استفاده ازرابطه‌ی زیرتصحیح می‌گردد [5]:

$$Rgen_i = INT\left(\frac{Nd}{2^{L_i} - Nd}\right)(Rgen_i - Nd) \qquad (٤)$$

که در این رابطه INT( ) تابع جزء صحیح می‌باشد. با اعمال یک تغییر کوچک در رابطه‌ی (٤) می‌توان به جواب‌های بهتری دست یافت:

$$Rgen_i = INT\left(\frac{Nd(Rgen_i - Nd)}{2^{L_i} - Nd}\right) \qquad (٥)$$

در حالت متغیرهای پیوسته، بازه موردنظر به قسمت‌های مساوی تقسیم می‌شوند. هر چه تعداد قسمت‌ها بیشتر باشد، دقت بیشتر خواهد شد. با این‌کار در حقیقت متغیر به صورت گسسته تبدیل خواهد شد و بنابراین الگوریتم ژنتیک با مقادیر متوسط هر کدام از این قسمت‌های کوچک کار می‌کند. رابطه‌ی زیر برای به‌دست آوردن مقدار متغیر پیوسته پیشنهاد شده است:

$$x = x_l + \frac{(2RNA - 1)(x_u - x_l)}{2^{l_i + 1}} \qquad (٦)$$

که در این روابط RNA مقدار رمز گشایی شده، x_u؛ حد بالای بازه و x_l؛ حد پایین بازه می‌باشند. پس از به‌دست آوردن مقدار واقعی متغیرها با قرار دادن آن‌ها در تابع هدف، مقدار این تابع به ازای هر یک از بردارهای جواب به‌دست می‌آید. در مسائل بیشینه‌سازی به تابع هدف تابع برازندگی (Fitness Function) گویند. پس از انتصاب برازندگی به هر کروموزوم، نوبت به مرحله‌ی انتخاب (Selection) کروموزوم‌های برازنده جهت تولید مثل و ایجاد نسل‌های بعدی می‌رسد. در الگوریتم ژنتیک، این کار توسط عملگر انتخاب، صورت می‌پذیرد. این عملگر برگرفته از اصل انتخاب طبیعی داروین می‌باشد. بدین‌ترتیب که جواب‌های بهتر، بخت بیشتر و جواب‌های بدتر، بخت کم‌تری برای انتخاب و رفتن به حوضچه‌ی آمیزش خواهند داشت. عملگر انتخاب به روش‌های گوناگونی انجام می‌پذیرد. دراین قسمت به معرفی انتخاب قطعی(متناسب) (Roulette wheel Selection) و انتخاب چرخ‌گردان خواهیم پرداخت [6].

در روش انتخاب، متناسب هر فرد با توجه به نسبت برازندگی خود به مجموع برازندگی تمام کروموزوم‌های نسل خود افرادی را به تعداد Ncopy جهت ایجاد نسل آینده به حوضچه‌ی آمیزش خواهد فرستاد که این پارامتر از رابطه‌ی زیر به‌دست خواهد آمد:

$$Ncopy_i = INT\left(\frac{Fit_i}{\sum_{i=1}^{popsize} Fit_i} popsize\right) \qquad (٧)$$

رابطه‌ی(٧) را می‌توان به‌صورت‌رابطه‌ی‌زیرنیز نوشت:

$$Ncopy_i = INT\left(\frac{Fit_i}{Fit_{avg}}\right) \qquad (٨)$$

در این روابط، popsize؛ اندازه‌ی جامعه، Fit_i؛ برازندگی کروموزوم iام و Fit_{avg}؛ میانگین برازندگی نسل می‌باشد. تابع INT جزء صحیح آرگومان خود را برمی‌گرداند. ساده‌ترین روش انتخاب، انتخاب چرخ‌گردان است. در این روش به هر کروموزوم به نسبت برازندگی‌اش قطاعی از یک دیسک اختصاص داده می‌شود. سپس به اندازه‌ی جمعیت، اعداد تصادفی در بازه

$(0,2\pi)$ تولید می‌شوند. رشته‌هایی که اعداد تصادفی در قطاع مربوط به آن‌ها قرار گیرد، جهت رفتن به حوضچه‌ی آمیزش انتخاب می‌شوند. در این الگوریتم در انتخاب کروموزوم‌ها روشی تصادفی استفاده می‌شود و تأکیدی که در انتخاب قطعی بر روی برازندگی در انتخاب کروموزوم وجود دارد، در این روش وجود ندارد. پس از فرستاده شدن کروموزوم‌های منتخب به حوضچه‌ی آمیزش، کروموزوم‌های موجود در حوضچه‌ی آمیزش که تعدادشان برابر اندازه‌ی جمعیت و زوج می‌باشد، به صورت کاملاً تصادفی دو به دو با یکدیگر جفت می‌شوند؛ بنابراین، اگر popsize اندازه‌ی جمعیت باشد، در این مرحله popsize/2 جفت کروموزوم موجود می‌باشد. این جفت‌ها آماده جهت عمل پیوند و تولید نسل بعد می‌باشند. اگر در الگوریتم ژنتیک فقط به عملگر انتخاب بسنده کنیم، هیچ‌گاه به جوابی بهتر از بهترین پاسخ نسل اول دست نخواهیم یافت. بنابراین نیاز به عملگر جدیدی احساس می‌شود که با توجه به اطلاعات موجود، طرح‌های جدیدی که نسبت به طرح‌های قبل ارزش بیشتری داشته باشند را ارائه دهد. این عملگر، عملگر پیوند است. عملگر پیوند را می‌توان مهم‌ترین عملگر الگوریتم ژنتیک و موتور جستجوی این الگوریتم دانست که در آن قسمتی از اطلاعات بین رشته‌های والد که قبلاً با یکدیگر جفت شده‌اند به صورت تصادفی مبادله می‌شود [6].

در بعضی موارد به خصوص در جامعه‌های کوچک، احتمال دارد که یک بیت مشخص در تمام افراد جامعه دارای مقدار یکسانی مانند (۱) باشد. در این صورت، اگر تنها از عملگر پیوند استفاده نماییم، این بیت هیچ‌گاه مقدار مخالف صفر را نخواهد پذیرفت، حال آن‌که ممکن است این مقدار صفر مقدار باارزش‌تری برای آن بیت باشد. از طرفی هرچند عملگر پیوند، عملگر قدرتمندی جهت جستجو می‌باشد، ولی در بعضی مواقع با انتقال بیت‌های با ارزش به افراد ضعیف باعث از بین رفتن این بیت‌ها می‌گردد. در این صورت، وجود عملگری هم‌چون جهش جهت بازیابی این بیت‌ها می‌تواند سودمند باشد. جهش نیز هم‌چون عملگر پیوند، عملگر تصادفی است. این عملگر با احتمال بسیار کوچک P_m در محدوده (0.001-0.004) بر روی بیت‌ها عمل می‌نماید؛ به این ترتیب که اگر مقدار بیت برابر ۱ باشد، تبدیل به ۰ می‌شود و بالعکس. همان‌طور که گفته شد، احتمال رویداد جهش بسیار کوچک فرض می‌شود؛ زیرا این عملگر توجهی به ارزش بیت‌ها و کروموزوم‌ها ندارد و اگر احتمال رخداد جهش را مقداری بزرگ فرض کنیم، در این صورت الگوریتم ژنتیک حالت سعی و خطا پیدا خواهد کرد. با توجه به سیستم عملکرد جهش، این احتمال وجود دارد که جهش باعث تبدیل یک بیت خوب به یک بیت نامطلوب گردد؛ لیکن با توجه به ایجاد گوناگونی بیشتر و کشف نقاط جدید در فضای پاسخ، تجربه نشان داده است که در اکثر موارد، وجود این عملگر در کنار عملگرهای انتخاب و پیوند مفید بوده و جواب‌های بهتری حاصل می‌گردد. شکل(۱) نحوه‌ی عمل عملگر جهش را نشان می‌دهد. پس از اعمال جهش، کروموزوم‌های جدید (فرزندان) جانشین نسل پیشین (والدین) می‌گردند و سپس از مرحله‌ی رمزگشایی به بعد تکرار می‌شود.

before mutation	0	1	1	***1***	0	0	1	1	0	1	0
				⇓							
after mutation	0	1	1	***0***	0	0	1	1	0	1	0

شکل ۱ عملگر جهش

اصلاح الگوریتم ژنتیک ساده

جهت افزایش کارآیی الگوریتم ژنتیک، می‌توان اصلاحاتی به شرح ذیل در آن انجام داد [7]:

تبدیل مسائل مقید به مسائل نامقید. برای تبدیل مسائل مقید به مسائل نامقید در الگوریتم ژنتیک، معمولاً از روش تابع جریمه‌ی خارجی استفاده می‌شود. به طور مثال، اگر هدف بهینه‌سازی وزن یک خرپا با قید عدم تجاوز تنش در اعضا از حد مجاز باشد، در این صورت تابع هدف به صورت زیر اصلاح می‌گردد:

$$\varphi(X)=Gol(X)+R_p[\sum_{i=1}^{ne}[(\frac{|\sigma_i|}{\bar{\sigma}_i}-1)^+]^2] \qquad (٩)$$

$$(\frac{|\sigma_i|}{\bar{\sigma}_i}-1)^+=MAX(\frac{|\sigma_i|}{\bar{\sigma}_i}-1,0) \qquad (١٠)$$

که در این رابطه، ne ؛ تعداد اعضا، σ_i؛ تنش موجود در عضو iام، $\bar{\sigma}_i$؛ تنش مجاز مربوط به عضو iام، R_p؛ ضریب تابع جریمه و Gol(X)؛ تابع هدف، بر اساس رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید [8] که ρ؛ چگالی مصالح، A_i؛ مساحت و L_i طول عضو iام می‌باشد:

$$Gol(X)=\rho\sum_{i=1}^{ne}A_iL_i \qquad (١١)$$

نامنفی کردن مقادیر تابع هدف. در مواردی که مقادیر تابع هدف بازای بعضی از متغیرها مثبت و به‌ازای بعضی دیگر منفی باشد، باید مقادیر منفی به صورت نامنفی تبدیل شوند. رابطه‌ی زیر برای این اصلاح پیشنهاد شده‌است:

$$IGol_i=Gol_i(X)+C_{min} \qquad (١٢)$$

که در این رابطه، $Gol_i(X)$؛ مقدار تابع هدف مربوط به بردار طرح iام، $IGol_i(X)$؛ تابع هدف اصلاح شده و C_{min}؛ مقدار مثبتی است که روش‌های مختلفی برای انتخاب آن وجود دارد. C_{min} می‌تواند مقدار مثبت و ثابتی باشد که توسط کاربر داده می‌شود. در این حالت، خواهیم داشت:

$$IGol_i(X)=Gol_i(X)+C_{min} \quad \text{for: } Gol_i(X)+C_{min}>0 \qquad (١٣)$$
$$IGol_i(X)=0 \qquad \text{Elsewhere}$$

C_{min} هم‌چنین می‌تواند قدرمطلق کوچکترین عدد منفی نسل حاضر و یا قدر مطلق کوچک‌ترین عدد منفی در چند نسل مشخص قبل یا در تمامی نسل‌های پیش از این باشد. به این ترتیب، مقادیر تابع هدف تمامی بردارهای طرح به مقادیری نامنفی تبدیل خواهد شد.

تبدیل مسأله‌ی کمینه‌سازی به بیشینه‌سازی. الگوریتم ژنتیک نامنفی بودن مقادیر تابع را تضمین نمی‌نماید؛ لذا باید آن‌را اصلاح نمود. روش‌های مختلفی جهت این کار وجود دارد. تابع اصلاح شده در این مورد، تابع برازندگی (Fitness Function) نامیده می‌شود.

در مسائل بیشینه‌سازی در حقیقت تابع هدف همان تابع برازندگی است. هرچه طرح مناسب‌تر باشد، مقدار تابع برازندگی نسبت داده شده به طرح، بزرگتر خواهد بود. برای تبدیل تابع هدف به تابع برازندگی در مورد مسائل کمینه‌سازی، معمولاً از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$Fit_i(X)=C-Gol_i(X) \qquad (١٤)$$

که در این رابطه، $Fit_i(X)$؛ مقدار تابع برازندگی مربوط به کروموزوم iام، و$Gol_i(X)$؛ مقدار تابع هدف (یا تابع هدف اصلاح شده) مربوط به کروموزوم شماره‌ی i می‌باشد. C نیز مقداری مثبت است[9].

معیارهای هم‌گرایی. در الگوریتم ژنتیک، دو نوع شرط برای معیار هم‌گرایی استفاده می‌شود که عبارتند از شرط‌های غیر فعال و شرط‌های فعال [5]. شرط‌های نوع اول مستقل از جواب به‌دست آمده از الگوریتم ژنتیک می‌باشند. از این نوع می‌توان به شرط حداکثر تعداد حلقه اشاره کرد. به این ترتیب که اگر تعداد حلقه (نسل) به عدد صحیح مثبت Maxgen که توسط کاربر تعریف می‌شود رسید، الگوریتم متوقف می‌شود. در نوع دوم توقف، الگوریتم به جواب به‌دست آمده از الگوریتم

وابسته می‌باشد. به این ترتیب کـه اگـر میـزان یکنـواختی کروموزوم‌های نسل از حد معینی که توسط کاربر مـشخص می‌شود بیشتر شود، الگوریتم متوقف خواهد شد.

الگوریتم ژنتیک مهاجرتی (MGA)
(Migration Genetic Algorithm)

در این مقاله الگوریتم ژنتیک مهاجرتی (چند جمعیتی) که در مسائل بسیار بزرگ کارائی خود را نـشان داده، بـه‌کـار گرفته شده است. هم‌چنین در مراجع نشان داده است کـه این الگوریتم با احتمال بیـشتری بـه بهینـه کلـی هـم‌گـرا می‌گردد. [10 و 11].

در این روش به جای استفاده از یک جامعه از چنـد جامعه‌ی مستقل از یکدیگر اسـتفاده مـی‌شـود. ایـن زیـر جامعه‌ها به طور مـستقل از یکـدیگر بـه روش الگـوریتم ژنتیک برای چند نسل مشخص بهینه می‌شوند. پس از آن، در پایان هـر نـسل افـرادی در بـین جامعـه‌هـا مهـاجرت مـی‌کننـد. ایـن روش نـه تنهـا دارای سـرعت محاسـبات بالاتری است، بلکه نیاز به محاسبه‌ی تابع هدف کـم‌تـری نسبت به روش‌های تک جامعه‌ای دارد.

نحوه‌ی انتخاب افراد جهت مهـاجرت مـی‌توانـد بـه صورت‌های مختلفی که در زیر به آن اشـاره شـده اسـت، صورت پذیرد:

۱- انتخاب افراد جهت مهاجرت به صورت تصادفی،
۲- انتخاب بهترین فرد هر جامعه جهت مهاجرت.

حالت‌های ممکن بسیاری جهت سـاختار مهـاجرت افراد بین زیر جامعه‌ها وجود دارد. به‌طورمثـال، مهـاجرت می‌تواند به صورت‌های زیر انجام شود:

۱- بین تمامی زیر جامعه‌ها (ساختار شبکه کامل یا بـدون محدودیت)،
۲- مهاجرت به صورت ساختار حلقه‌ای،
۳- مهاجرت بین زیر جامعه‌های همسایه.

معمول‌ترین روش جهت مهاجرت، مهـاجرت بـدون محدودیت یا همان شبکه‌ی‌کامل می‌باشد. در این ساختار، افراد می‌توانند از هر جامعه‌ای به جامعه‌ای دیگر مهاجرت نماینـد. بـرای هـر زیـر جامعـه، یـک حوضـچه جهـت کروموزوم‌های مهاجر سایر زیر جامعه‌ها وجـود دارد کـه افراد مهاجر سایر زیر جامعه‌ها که مایل بـه مهـاجرت بـه این زیر جامعه مـی‌باشـند، ابتـدا در ایـن حوضـچه قـرار می‌گیرند. (می‌توان این حوضچه را به اداره‌ی مهـاجرت هـر کشور تشبیه کرد) سپس از بین افراد، فردی به طور تصادفی انتخاب شده و اجازه‌ی ورود به جامعه را مـی‌یابـد. مطالـب بیشتری در مراجع [12] و [13] در رابطـه بـا کـاربرد روش الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی سازه‌ها وجود دارد.

مطالعه‌ی موردی

در مطالعه‌ی حاضر، محل بهینه‌ی انواع مهارهای هم‌گرا و واگرا در قاب‌های چهار طبقه دو بعـدی و سـه بعـدی بـا اسـتفاده از طیـف طـرح، آیـین نامـه‌ی ۲۸۰۰، همـراه بـا فرضیات به شرح زیر برای تحلیل دینامیکی طیفی تعیـین گردیده است: منطقه با خطرپـذیری لـرزه‌ای نـسبی زیـاد (A=0.3)، ساختمان مسکونی بـا ضـریب اهمیـت I=1 و ضریب رفتار سـاختمان برابـر R=6 در نظـر گرفتـه شـده است. مبنای محاسبات برای زمین محل اجرای سـاختمان تیپ II با $T_0 = 0.5$ می‌باشد. بـرای سـاختمان در هـر سقف یک گره اصلی در مرکز سطح سقف تعیین و جـرم طبقه در آن گـره منظـور مـی‌گـردد. جابـه‌جـایی همـه‌ی گره‌های سقف به گره اصـلی مربـوط شـده و سـقف بـه صورت دیافراگم صلب مدل می‌شود. ترکیـب بـار مـورد استفاده به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{cases} DL+LL \\ DL+LL\pm E \end{cases} \qquad (15)$$

برای قاب با بادبندی واگرا در دهانه‌هایی کـه بادبنـد قرار می‌گیرد، تیر به سه قسمت تقسیم مـی‌شـود؛ ولـی در طراحی در یک گروه قرار گرفته و یک مقطع بـرای آن در نظر گرفته می‌شود که برای این سه عضو در شکل‌ها یـک شماره‌ی عضو نشان داده شده اسـت در کلیـه‌ی مثـال‌هـا مقاطع مورد استفاده برای ستون‌هـا از جـدولIPB، بـرای تیرها وبادبندها از جدول مقطـع IPE مـی‌باشـد.خـواص فولاد نرمه نیز به صورت پارامترهای زیـر در نظـر گرفتـه شده است:

$F_y = 2400\ kg/cm^2$

$\gamma = 7850\ kg/cm^3$

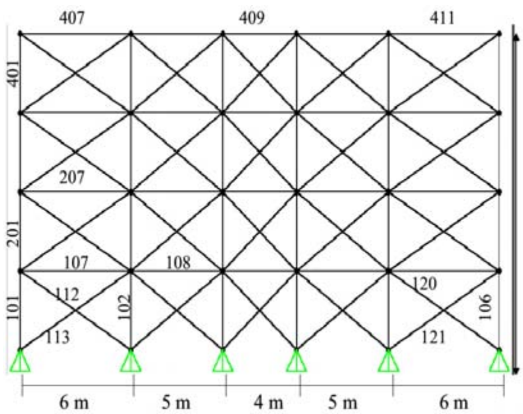
$E = 2.1\times10^6\ \ kg/cm^2$

هم‌چنین نرم‌افزار SAP90 جهت آنالیز سازه و به‌دست آوردن نیروهای اعضاء و جابه‌جایی گره‌ها و نرم‌افزار SAPSTL جهت طراحی اعضاء، طبق آیین نامه‌ی AISC مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از این نرم‌افزارها امکان بهینه‌سازی سازه‌های اسکلتی مختلف تحت بارگذاری متفاوت با ترکیب بارهای متنوع با دقت مطلوب را در این تحقیق میسر می‌نماید.

تابع هدف. در تحقیق حاضر، کمینه‌سازی وزن قاب‌ها هم‌زمان با اقناع شرایط آیین‌نامه‌ی AISC، تابع هدف مساله می‌باشد که به‌صورت زیرمی‌توان آن را نمایش داد:

$$W=\sum_{i=1}^{nel} w_i.l_i \qquad (۱٦)$$

در رابطه‌ی فوق، l_i؛ طول عضو iام و w_i؛ وزن واحد طول آن می‌باشد. W که نشان‌دهنده‌ی وزن کل سازه است، تابع هدف و nel تعداد اعضاء سازه می‌باشد.



شکل ۲ هندسه سازه و شماره اعضاء

متغیرهای مسأله. متغیرهای طراحی در این تحقیق، شامل دو گروه می‌باشند. گروه اول متغیر مربوط به مقاطع اعضاء که با انتخاب مقاطع اعضاء از جدول استاندارد نیم‌رخ‌های فولادی، متغیرهای مسأله از نوع گسسته خواهد بود. گروه دوم متغیر مربوط به توپولوژی، که برای تعیین فرض وجود یا عدم وجود گروه بادبندها و محل اتصال بادبند واگرا به تیر استفاده می‌شود.

قیود و ضوابط. قیدهایی که در این تحقیق در نظر گرفته شده، نسبت تنش در اعضاء است که طبق ضوابط آیین‌نامه‌ی AISC به‌دست می‌آید. با توجه به کاربردی بودن مسأله بهینه‌سازی، حداکثر نسبت جابه‌جایی طبقه‌ی آخر به ارتفاع طبقه از تراز پایه، طبق توصیه‌ی آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ به مقدار $1/200$ (جابه‌جایی نسبی بین طبقات برابر $0.03/R|_{R=6}$) محدود شده است.

نتایج اجرای مدل روی قاب‌های نمونه و بحث

انواع مختلفی از قاب‌ها و مهارها توسط برنامه مدل‌سازی گردیده که نتایج نمونه ای از آن‌ها در ذیل آمده است:

قاب دو بعدی چهار طبقه با بادبندی هم‌گرا. در این اجرا یک قاب دو بعدی ٤ طبقه و ٥ دهنه مطابق شکل(۲) با فرض این‌که بادبند هم‌گرا بدون محدودیت می‌تواند در تمام دهانه‌ها قرار بگیرد، تحت بارگذاری رابطه‌ی (۱٥) قرار گرفته است. مشخصات دیگر سازه به شرح ذیل انتخاب گردیده است:

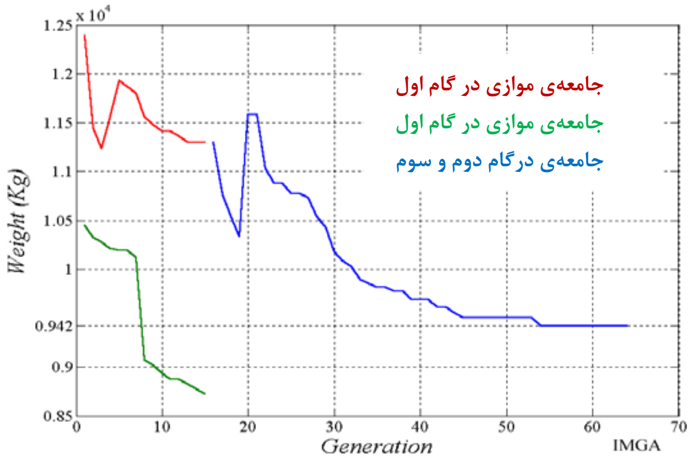
بارگسترده وارد به تیر $= 2000_{Kg/m}$

جرم طبقه $= 5200_{Kg}$

حداکثر پاسخ شتاب $= S_a = \frac{1}{R} AI = 0.05$

جدول (۱) مشخصات الگوریتم برای حل مسأله و جدول (۲) مقاطع نهایی برای هر تیپ از تیر و ستون‌ها را نشان می‌دهد. شکل (۳) تغییرات وزن سازه تا هم‌گرا شدن به وزن بهینه را در طی اجرای مدل نشان می‌دهد.

پس از عملیات بهینه‌سازی در این اجرا وزن بهینه قاب برابر ۹٤۲۰ کیلوگرم و بهینه‌ترین دهانه برای نصب بادبند که دهانه‌ی وسط قاب است؛ شکل (٤)، به‌دست می‌آید. مقدار جابه‌جایی سازه نیز نسبت به مقدار مجاز کنترل گردیده است.



شکل ۳ تغییرات وزن بهینه سازه در هر نسل به روش IMGA

جدول ۱ مشخصات روش IMGA ومقدار وزن بهینه

گام سوم		گام دوم		گام اول	
۳۰	تعداد افراد جامعه	۳۰	تعداد افراد جامعه	۲	تعداد جامعه‌های موازی
۸	تعداد مقاطع (NRPOR)	۱۰	تعداد تولید نسل	۱۰	تعداد افراد هر جامعه
۳۹	تعداد تولید نسل			۱۰	ماکزیمم نسل
۱۷۷۰		کل تعداد آنالیز انجام شده			
۹٤۲۰		مقدار وزن بهینه به (kg)			

جدول ۲ مقاطع نهایی در هرتیپ

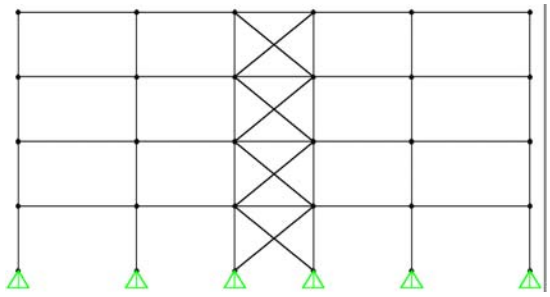
مقطع	شماره تیپ	مقطع	شماره تیپ	مقطع	شماره تیپ	مقطع	شماره تیپ
IPE 450	18	IPB 100	11	IPB 180	6	IPB 180	1
IPE 400	21	IPB 100	12	IPB 100	7	IPB 180	2
IPE 400	24	IPE 330	13	IPB 120	8	IPB 180	3
IPE 400	27	IPE 270	14	IPB 120	9	IPB 100	4
		IPE 240	15	IPB 100	10	IPB 140	5

جدول ۳ مشخصات روش IMGA ومقدار وزن بهینه

گام سوم		گام دوم		گام اول	
۳۰	تعداد افراد جامعه	۳۰	تعداد افراد جامعه	۳	تعداد جامعه‌های موازی
۸	تعداد مقاطع (NRPOR)	۲۰	تعداد تولید نسل	۱۰	تعداد افراد هر جامعه
۳۹	تعداد تولید نسل			۱۵	ماکزیمم نسل
۲۱۳۰		کل تعداد آنالیز انجام شده			
٦۸۷۵٫۲		مقدار وزن بهینه به (kg)			

جدول ٤ مقاطع نهایی در هرتیپ

مقطع	شماره تیپ	مقطع	شماره تیپ	مقطع	شماره تیپ	مقطع	شماره تیپ
IPE 270	21	IPE 300	13	IPB 100	7	IPB 120	1
IPE 270	24	IPE 270	14	IPB 140	8	IPB 140	2
IPE 240	27	IPE 270	15	IPB 120	9	IPB 180	3
IPE 240	30	IPE 240	16	IPB 100	10	IPB 100	4
		IPE 220	17	IPB 100	11	IPB 120	5
		IPE 200	18	IPB 100	12	IPB 140	6



شکل ٤ توپولوژی بهینه سازه

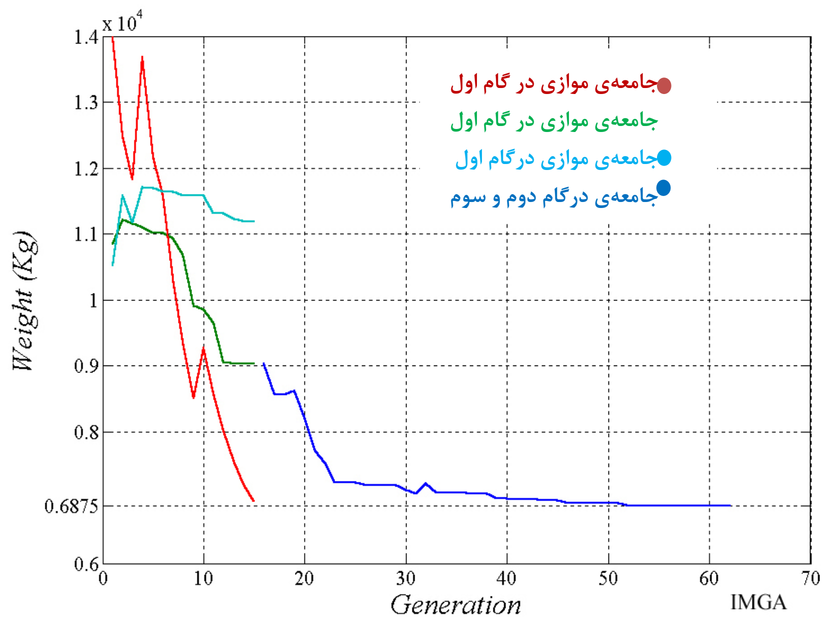
نسبت جابه‌جایی به جابه‌جایی مجاز

$$\Delta/\Delta_{all} = 1.32/6 = 0.22$$
$$\text{Weight}_{\text{Optimum}} = 9420_{\text{kg}}$$

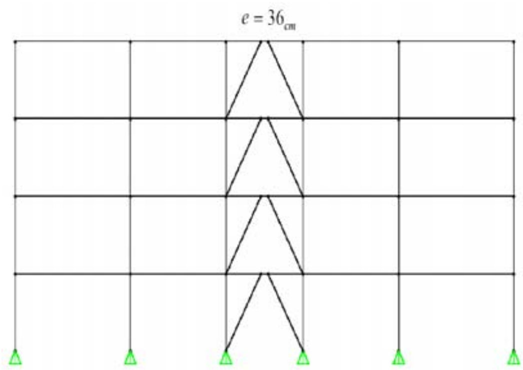
قاب دو بعدی چهار طبقه با بادبندی واگرا. در این اجرا، قاب قسمت قبل با همان بارگذاری و شکل هندسی با فرض این‌که بادبند واگرا می‌تواند در تمام دهانه‌ها قرار بگیرد، به منظور طرح بهینه و تعیین طول تیر پیوند مورد بررسی قرار گرفته است. جدول (۳) مشخصات الگوریتم برای حل مسأله و جدول (٤)، مقاطع نهایی برای هر تیپ از تیر و ستون‌ها را نشان می‌دهد. شکل (۵)، تغییرات وزن سازه تا همگرا شدن به وزن بهینه را در طی اجرای مدل نشان می‌دهد. پس از عملیات بهینه‌سازی در این مثال وزن بهینه همراه با بهینه‌ترین دهانه برای نصب بادبند که دهانه‌ی وسط قاب است، همراه با طول بهینه‌ی تیر پیوند $e = 36_{Cm}$ (شکل ٦) به‌دست می‌آید. مقدار جابه‌جایی سازه نیز نسبت به مقدار مجاز کنترل گردیده است:

$$\Delta/\Delta_{all} = 1.68/6 = 0.28$$
$$\text{Weight}_{\text{Optimum}} = 6875_{\text{kg}}$$

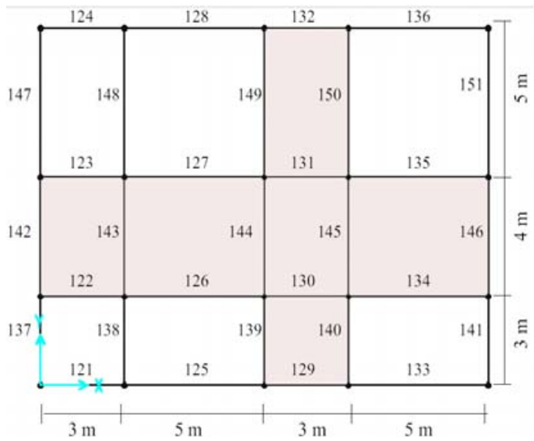
از مقایسه‌ی وزن قاب در اجراهای ۱ و ۲ مشاهده می‌شود که در حالت استفاده از مهاربند واگرا، وزن قاب۲۷٪ کم‌تر شده است که می‌توان نتیجه گرفت طول تیر پیوند نقش مهمی در بهینه‌سازی این نوع قاب‌ها دارد و برنامه توانسته است با استفاده از متغیر قرار دادن محل قرارگیری مهاربند در طول دهانه‌های مختلف و طول تیر پیوند بهینه‌ترین توپولوژی و بهینه‌ترین مقاطع را برای مقابله در برابر بار وارده به سازه، همراه با ارضاء قیود به‌دست آورد.



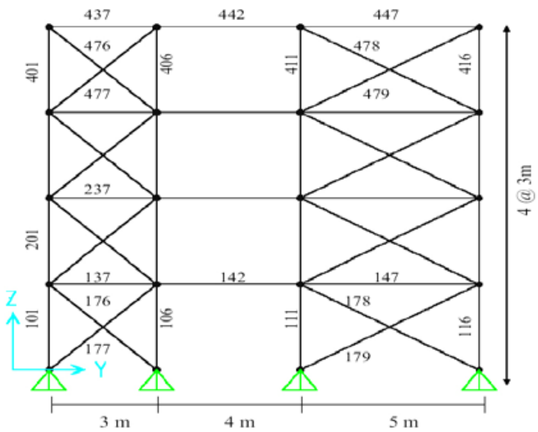
شکل ۵ تغییرات وزن بهینه سازه در هر نسل به روش IMGA



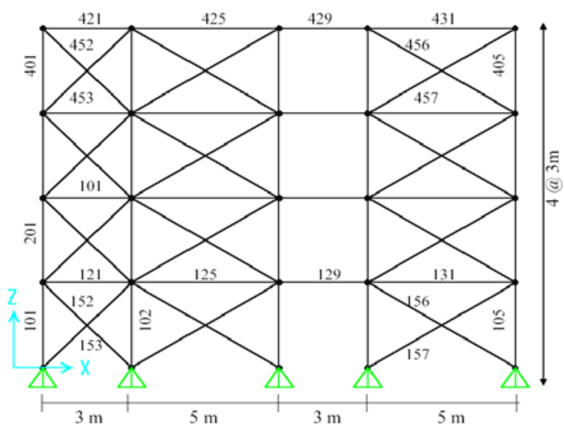
شکل ٦ توپولوژی بهینه سازه



شکل ۷ پلان سقف قاب و شماره اعضاء



شکل ۸ نمای قاب درجهت Y و شماره‌ی اعضاء



شکل ۹ نمای قاب درجهت X و شماره‌ی اعضاء

قاب سه بعدی چهار طبقه با بادبندی هم‌گـرا. در ایـن اجرا یک قاب سه‌بعدی ٤ طبقه که دارای٤ دهنه در جهت X و ۳ دهنه در جهت Y با اتفاع هـر طبقـه برابـر ۳ متـر، مطابق پلان شکل (۷) و نماهای اشکال شماره (۸ و ۹) با فرض این‌که بادبند هم‌گرا می‌تواند در تمام دهانه‌ها به‌جز دهانه‌هایی که در پـلان پررنگتـر نـشان داده شـده قـرار بگیرد، مورد بررسی قرار گرفته اسـت. مشخـصات دیگـر سازه به شرح ذیل انتخاب گردیده است:

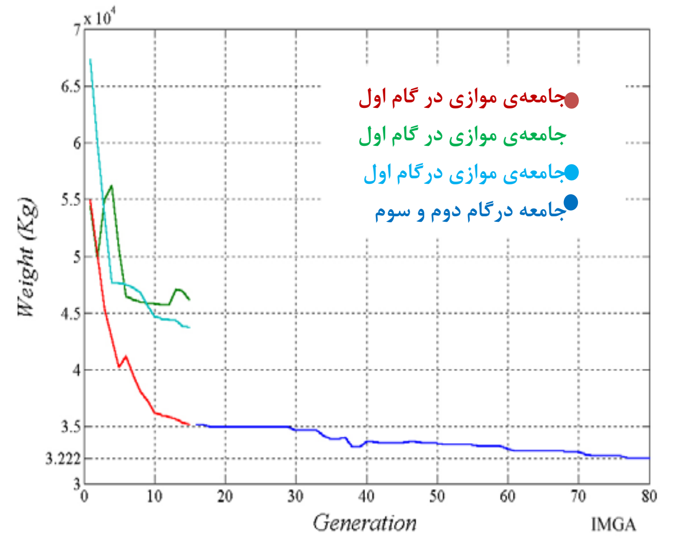
جرم طبقه = 15360_{Kg}

بارگسترده (مرده+زنده) وارد به تیردر جهت X، = $2000_{Kg/m}$

بارگسترده(مرده+زنده) وارد به تیر درجهت Y، = $1000_{Kg/m}$

$S_a=\frac{1}{R}AI=0.05$ شکل (۱۰) تغییرات وزن سازه تا هم‌گرا شدن به وزن بهینه را در طی اجرای مدل نشان می‌دهد.

جدول (۵) مشخصات الگوریتم برای حل مسأله، و جدول (٦) مقاطع نهایی برای هر تیپ از تیر و ستون‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰ تغییرات وزن بهینه‌ی سازه در هر نسل به روش IMGA

جدول ۵ مشخصات روش IMGA ومقدار وزن بهینه

گام اول		گام دوم		گام سوم	
تعداد جامعه‌های موازی	٣	تعداد افراد جامعه	٣٠	تعداد افراد جامعه	٤٠
تعداد افراد هر جامعه	١٢	تعداد تولید نسل	١٠	تعداد مقاطع (NRPOR)	٨
ماکزیمم نسل	١٥			تعداد تولید نسل	٥٥
کل تعداد آنالیز انجام شده				٣٠٤٠	
مقدار وزن بهینه به (kg)				٣٢٢٢٠	

جدول ٦ مقاطع نهایی در هرتیپ

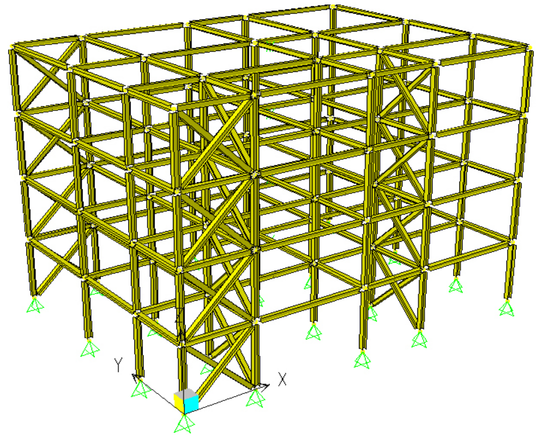
شماره تیپ	مقطع	شماره تیپ	مقطع	شماره تیپ	مقطع	شماره تیپ	مقطع
1	IPB 240	8	IPB 160	15	IPE 140	21	IPE 300
2	IPB 280	9	IPB 180	16	IPE 180	24	IPE 330
3	IPB 220	10	IPB 100	17	IPE 220	34	IPE 300
4	IPB 200	11	IPB 100	18	IPE 360	39	IPE 300
5	IPB 200	12	IPB 100	23	IPE 360	42	
6	IPB 200	13	IPE 180	26	IPE 330	47	
7	IPB 160	14	IPE 270	31	IPE 360		

جدول ۷ مشخصات روش IMGA و مقدار وزن بهینه

گام سوم		گام دوم		گام اول	
۵۰	تعداد افراد جامعه	۴۰	تعداد افراد جامعه	۴	تعداد جامعه‌های موازی
۸	تعداد مقاطع (NRPOR)	۲۵	تعداد تولید نسل	۱۰	تعداد افراد هر جامعه
۴۵	تعداد تولید نسل			۱۵	ماکزیمم نسل
۳۸۵۰		کل تعداد آنالیز انجام شده			
۲۹۹۷۸		مقدار وزن بهینه به (kg)			



شکل ۱۱ پلان توپولوژی بهینه ساز



شکل ۱۲ نمای سه بعدی از توپولوژی بهینه سازه

پس از عملیات بهینه‌سازی در این مسأله وزن بهینه قاب همراه با بهینه‌ترین دهانه‌ها برای نصب بادبندکه در اشکال (۱۱ و ۱۲) نشان داده شده است، به‌دست می‌آید. مقدار جابه‌جایی سازه نیز نسبت به مقدار مجاز کنترل گردیده است:

$$\Delta/\Delta_{all} = 2.42/6 = 0.403$$

$$\text{Weight}_{\text{Optimum}} = 32220_{\text{kg}}$$

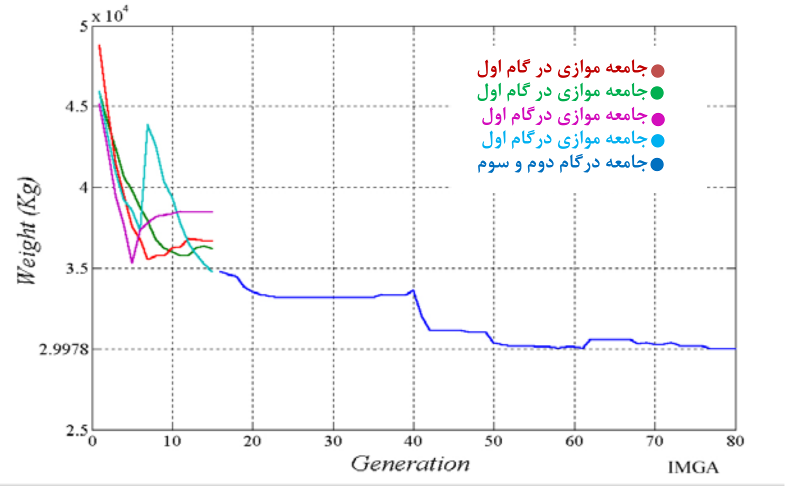
قاب سه بعدی چهار طبقه با بادبندی واگرا. در این اجرا قاب قسمت قبل با همان بارگذاری و شکل هندسی با فرض این‌که بادبند واگرا می‌تواند در تمام دهانه‌ها به جز دهانه‌هایی که در شکل (۴) پررنگ نشان داده شده قرار بگیرد، همراه با به دست آوردن طول بهینه‌ی تیر پیوند مورد بررسی قرار گرفته است؛ شکل (۱۳) تغییرات وزن سازه تا هم‌گرا شدن به وزن بهینه را در طی اجرای مدل نشان می‌دهد. جدول (۷) مشخصات الگوریتم برای حل مسأله و جدول (۸) مقاطع نهایی برای هر تیپ از تیر و ستون‌ها را نشان می‌دهد.

پس از عملیات بهینه‌سازی در این مسأله، وزن بهینه همراه با بهینه‌ترین دهانه‌ها برای نصب بادبندها و طول تیر پیوند که در اشکال (۱۴و۱۵) مشخص شده به‌دست می‌آید. به روش IMGA:

$$\Delta/\Delta_{all} = 2.66/6 = 0.443$$

$$\text{Weight}_{\text{Optimum}} = 29978_{\text{kg}}$$

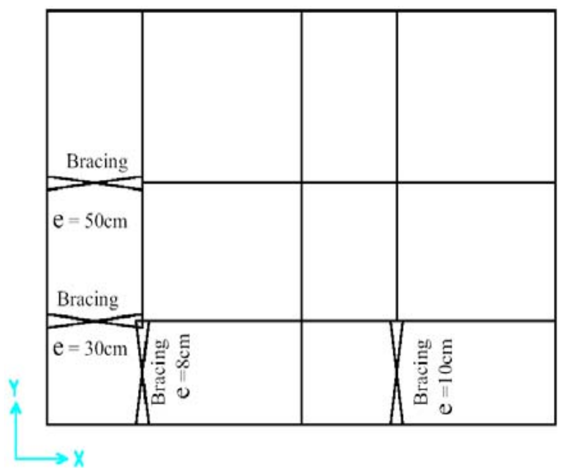
از مقایسه‌ی نتایج اجراهای ۳ و ۴ برای قاب سه بعدی ملاحظه می‌گردد که نرم‌افزار بهینه‌ساز تهیه شده توانسته است بهینه‌ترین توپولوژی را همراه ارضاء قیود به‌دست آورده و در قاب‌های مهاربند واگرا با استفاده از خصوصیات قاب با تغییر پارامترهای آن بهترین طرح را در مقابل بارگذاری ایجاد کند. نتایج این بهینه‌سازی، نشان می‌دهد که پایین آمدن وزن قاب در حالت بادبند واگرا نسبت به بادبند هم‌گرا به مقدار ٪۶/۷ کاهش یافته است.



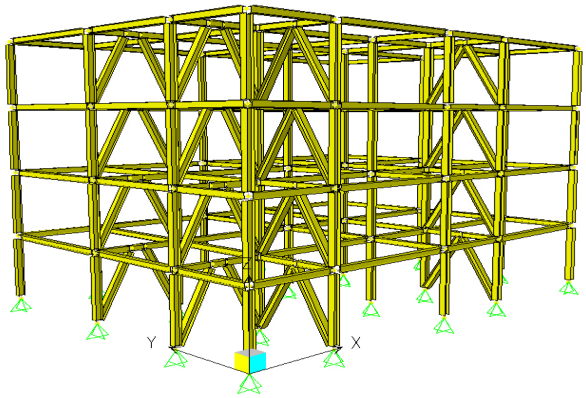
شکل ۱۳ تغییرات وزن بهینه سازه در هر نسل

جدول ۸ مقاطع نهایی در هرتیپ

شماره تیپ	مقطع	شماره تیپ	مقطع	شماره تیپ	مقطع	شماره تیپ	مقطع	شماره تیپ	مقطع
1	IPB 260	12	IPB 100	24	IPE 360	44	IPE 360	63	IPE 180
2	IPB 240	13	IPE 180	28	IPE 360	47	IPE 180	64	IPE 300
3	IPB 220	14	IPE 180	31	IPE 180	48	IPE 330	65	IPE 270
4	IPB 220	15	IPE 180	32	IPE 400	49	IPE 270	66	IPE 270
5	IPB 200	16	IPE 360	33	IPE 270	50	IPE 270	67	IPE 140
6	IPB 160	17	IPE 270	34	IPE 270	51	IPE 140	68	IPE 160
7	IPB 140	18	IPE 270	35	IPE 140	52	IPE 200	69	IPE 220
8	IPB 140	19	IPE 140	36	IPE 200	53	IPE 220	70	IPE 220
9	IPB 120	20	IPE 220	37	IPE 220	54	IPE 220	72	IPE 270
10	IPB 100	21	IPE 220	38	IPE 220	56	IPE 330	76	IPE 270
11	IPB 100	22	IPE 220	40	IPE 330	60	IPE 330		



شکل ١٤ پلان توپولوژی بهینه سازه



شکل ۱۵ نمای سه بعدی از توپولوژی بهینه سازه

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با بررسی عملکرد قاب‌های بادبندی شده به بهینه‌سازی این قاب‌ها به کمک الگوریتم ژنتیک اصلاح شده‌ی هوشمند با در نظر گرفتن محل قرارگیری بادبندها به‌عنوان یک متغیر پرداخته شده است. در قاب‌های بادبندی شده‌ی واگرا، علاوه بر محل قرارگیری بادبندها، محل اتصال بادبند به تیر نیز متغیر در نظر گرفته شده است. پس از بهینه‌سازی این قاب‌ها تحت اثر ترکیب بارگذاری بارگرانشی و زلزله که به صورت دینامیکی طیفی به سازه اثر داده شده است، نتیجه شد که چون نیروی جانبی جذب شده توسط سازه به سختی سازه بستگی دارد، نرم‌افزار بهینه‌ساز با تبعیت از این اصل بهینه‌ترین سختی را در مقابل بارهای وارده ایجاد می‌کند. برنامه در نهایت بهترین تعداد و محل را برای نصب بادبند و بهترین طول جهت تیر پیوند را همراه با بهینه کردن مقاطع اعضاء در اختیار کاربر قرار می‌دهد. نتایج تحلیل، توسط مدل بهینه ساز نشان داد که قاب با مهار واگرا، فولاد کم‌تری نسبت به قاب با مهار هم‌گرا نیاز دارد. دلیل آن این است که در قاب‌های بادبندی شده‌ی واگرا به دلیل دارا بودن پارامترهای متغیر بیشتر و عملکرد بهتر آن‌ها نسبت به قاب‌های بادبندی شده‌ی هم‌گرا، برنامه قادر است با تغییر متغیرها وزن فولاد مصرفی کم‌تری برای این نوع قاب‌ها به‌دست آورد و نرم‌افزار تهیه شده که در محیط برنامه MATLAB 6.5 کد نویسی شده و با اتصال به نرم افزارهای SAPSTL,SAP90 قادر به تحلیل و طراحی قاب‌های ساختمانی تحت اثر بار زلزله، بارهای استاتیکی و ترکیب بارهای استاتیکی و دینامیکی، ضمن کنترل کلیه عوامل دخیل در طراحی با متغیر در نظر گرفتن عوامل مؤثر در عملکرد قاب‌ها، بهینه‌ترین مقاطع و توپولوژی را برای اجرای قاب‌ها در اختیار مهندسین محاسب قرار می‌دهد.

مراجع

1. Kirsch, U., “Optimum Structural Design”, Mc Graw Hill, NewYork, (1981).

2. Rajan, S. D., “Sizing, Shape, and Topology Design Optimization of Trusses Using Genetic Algorithm”, *J. Struct. Engng ASCE*, 121(10), pp. 1480-1487, (1995).

3. Goldberg, D. E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley Publishing Co., Inc., Reading., Mass, (1989).

4. Coley, D., "An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers", World Scientific Publishing Co., London, (1999).

5. Lin, C. Y., and Hajela, P., "Genetic Algorithms in Optimization Problems with Discrete and Integer Design Variables", Engng. Optim., 19(4), pp. 309-327, (1992).

6. Sarma, K. C. and Adeli, H., "Bilevel Parallel Genetic Algorithms for Optimization of Large Steel Structures", Computed-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 16, pp. 295-304, (2001).

7. Greiner, D., Emperador, J. M. and Winter, G., " Single and multiobjective frame optimization by evolutionary algorithms and the auto – adaptive rebirth operator " ,Comput. Methods Appl. Mech. Engrg, (2004).

8. Sudarshan, R., "Genetic Algorithms and Application to the Optimization of Space Trusses", Project Report, IIT, Madras, (2000).

9. Lee, L. and Fan, Y., "An Adaptive Real-coded Genetic Algorithm", Applied Artificial Intelligence., 16(6), pp. 457-486, (2002).

10. Mühlenbein, H., Schomisch M. and Born, J., "The Parallel Genetic Algorithm as a Function Optimizer", Parallel Computing, 17, pp. 619-632, (1991).

11. Starkweather, T. Whitley D. and Mathias, K., "Optimization Using Distributed Genetic Algorithms", Proc. Parallel Problem Solving From Nature 1, Lecture Notes in Computer Science 496, pp. 176-185, Springer-Verlag, (1990).

12. Ghasemi M. R. and Hinton, K., "Concept of Rebirthing in Truss Optimization Using Genetic Algorithms", Published in Computer and Structures, (1998).

13. Ohsaki, M., "Genetic Algorithm for Topology Optimization of Trusses", Comp. & Struc., 57(2), pp. 219-225, (1995).